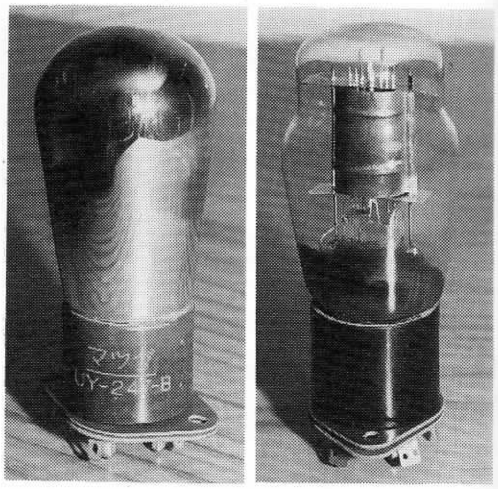
No. 1 真空管はどのように作られているか

真空管製造学入門

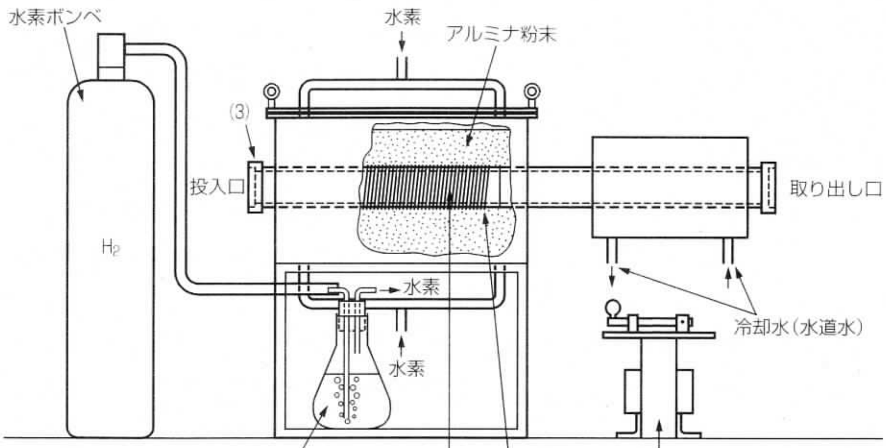
小口貴仁 Oguchi Yoshihito



昨年の10月号では岡谷電機産業(株)の前身である岡谷無線(株)の生い立ちとエーコン管から戦後の再生真空管製造，MT管製造に至る話題からHF-300Bなど日本の真空管開発史を紹介した．誌面の都合もあって，真空管の製造は，封止，排気について述べていたが，今回は前処理を含め内部に迫ってみたい．真空管の製造工程から，今日なお店頭にならぶ真空管の使いこなしまでを紹介する．

1. 電極材料の準備

真空管の性能と寿命にとって最も重要なことは内部をいかに良質な真空状態に保つかにあります．ガラス管の内部には各種の構造物が封入されるわけですし，動作時には，フィラメントの温度はかなり高く，陰極からの電子放射により陽極(プレート)からは熱が発生します．陽極は熱を放熱しやすくするため色々な工夫がされます．面積を拡大するため，丸型や型で押して横ミゾを入れ，表面を荒らしてみたりします．電流の大きなものでは材料も大きくなり，ブロックまたは金属からグラファイト，カーボンなどが使われています．これらの材料は吸蔵ガスを含んでいますのでガスを放出させなければなりません，整形されたグリッドやプレスされたプレート，各種の補助金属材料は水素炉で加熱されて吸蔵ガスや酸化物を還元させます(図1)．



水素処理の目的

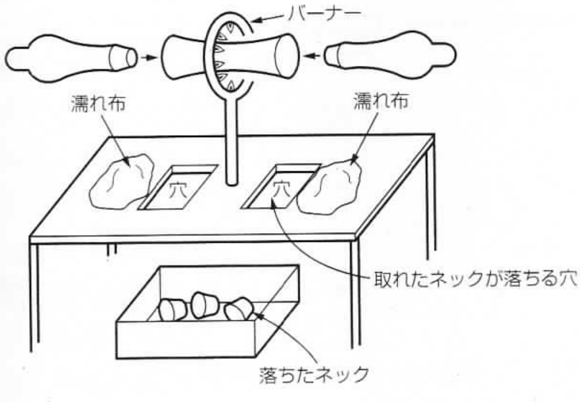
(1) 電極中に含まれる真空管にとって有害なガスを，水素ガスの雰囲気中で高温加熱して還元させる．

(2) 厚さ0.5mmほどのニッケル板で船を作り，その中に処理をするものを入れ，蓋をして水素炉に入れ加熱後，次の冷却部に送り冷却後に取り出す．

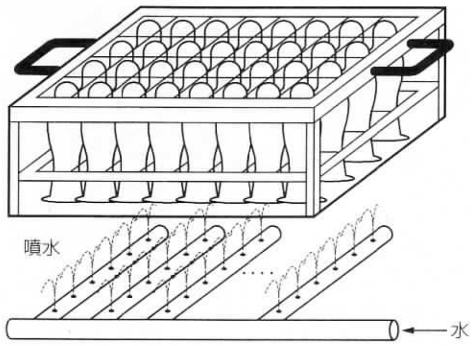
(3) 水素と大気中の酸素が混ざってそれに火が着くと爆発を起こす．それを防ぐには水素と酸素の間に炎で遮断をしておく．

[図1] 水素炉の構造図

プレート材料の中には，表面を酸化膜で被い内部ガス放出を抑える工夫がされたものもあります．この種の材料に対しては水素雰囲気中で処理すると還元されてしまうので真空炉処理を行います．真空管として容器に封止されたものはその後，吸蔵ガスの放出が内部から発生した場合，何かが吸収し



[図2]　バルブのネック取り



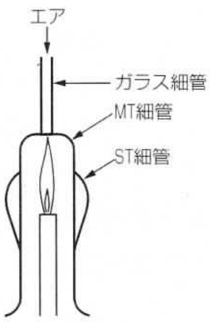
[図3]　バルブ洗浄

てくれない限り管球内の真空度は劣化します．もしプレートのように熱があって面積の大きなものに吸収作用をもたせられれば効果が期待できます．プレートにカーボンを吸収させた材料やチタン処理をした材料など色々な工夫は効果的に作用しているのです．２次電子の吸収にはカーボンは効果的であり，これらの研究は過去の文献中に特許も含め数多く発表されています．

2. ガラス材料

真空管の守りともいえる重要な材料で，受信管の場合鉛ガラスを使いました．ガラスバルブは製造時に型からハミ出したネックと呼ばれる元の部分がありますから，これを取る機械を当時ガラス技術を担当していた窪寺袈沙治氏が考案して作りました(**図２**)．これで両手にバルブを持って２個ずつネックを取ることができました（後に自動化)．

バルブの洗浄は大変重要で内面にアルカリ性の物質が付着していたり加工中の熱でよごれがあります．自社製のバルブ洗浄器(**図３**)に入れて噴水状に下から水を勢いよく当てて洗い，ヒーターボックスに入れて良く乾燥させます．バルブの頭部にトップ引き出し線の必要な**UZ6D6**や**UY807**のような品種では，バルブの先端に細管を付けます．

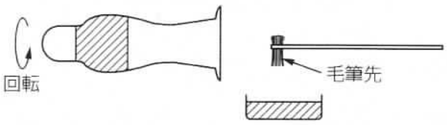


細管とバブル頭部が熔け合ったところで細管からエアを送ると，バルブの頭部に穴があく

[図4]　バルブの先端へ細管付け

方法は**図４**のごとく，バルブ内側より極細バーナーでガラス頭部をスポット状に溶かし細管を上部から接続しますが，細管側からエアを送って，バルブ頭部が溶けてやわらかくなったところへエアに押されてプッツと音がして小穴ができますので，ここに細管が接触し，接続できます．MT管の場合は排気管となります．図ではST管とMT管を同軸に書いてあります．

静電シールドを必要とする高周波管 **6C6, 6D6, 6WC5** などは**図５**のように内壁に黒鉛塗装をします．

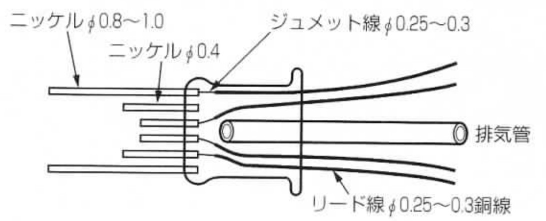


塗布液の主成分　黒鉛粉末
　　　　　　　　庶糖（バインダー）
　　　　　　　　水
塗布後空気中の電気炉でバルブの軟化寸前の約400℃に加熱し，バインダーを分解し水を蒸発させた

[図5]　バルブ・スーティング（黒鉛塗装）

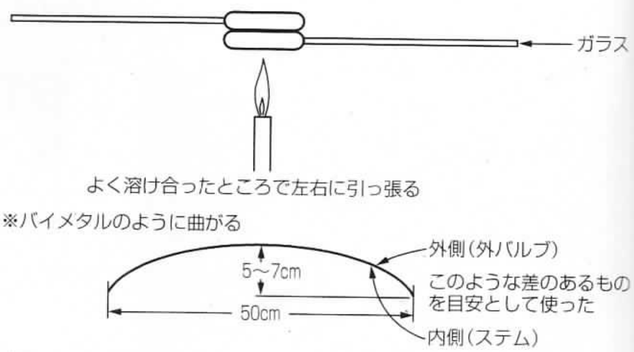
ヨーロッパ系の真空管では，バルブ外壁にメタリコンシールドしたもの（バルブ外面をザラザラにして吹付け物が密着強化されて剥離し難くしたもの）が多いようで，メタリコン被着の下地にシェラック等の塗布を行って，メタリコンの剝離を防ぐようにしたものもあります．いずれも湿気や溶剤などに弱く，古い真空管の清掃に際しては，絶対にアルコールなどの溶剤は使用してはならないのです．

メタリコンとは半田や鉛，亜鉛などの溶融しやすい金属をヒーター付きのスプレーガンやアーク放電によって溶けた金属を吹き付ける方法で，粒子が細かく熱キャパシティーも非常に少なく，真空管のガラスを割ってしまうようなこともないのでよく利用されています．フィルムコンデンサーの中にもリード端子を接続する端面に用



ジュメット線
芯は鉄・ニッケル合金で，成分比50：50%，外に銅をクラッドし表面は赤色酸化銅とし，さらに表面に硼砂処理してガラスとのなじみを良くしてあった．線膨張係数が鉛ガラスに合っていた．ステム完成品のジュメット線の色合いは明るい赤橙色から少し金色がかった色が良いとされていた．黒い色や気泡があれば不良．

［図6］ ST管用ステム



［図7］ 2種類のガラス膨張係数を調べる方法(バルブとステムの材料)

いられているものがあります．

3. ステム

ステムは真空管内部の構造物を保持し，電極と外部との接続をガラスとの密着を保ちながら機械的熱的にも耐えなければならない重要な部分であり，バルブとの接着でも最重要な役割りがあります．この部分の不良は，真空管の寿命に即影響してきます．すなわち金属とガラスの密着，そしてフィラメントへの通電に必要な電流確保，プレートやグリッドなどへの電圧対応，つまり絶縁の確保など求められる要求が集中しているところです(**図6**)．

金属とガラスとの膨張係数差はガラスのクラックやスローリーク(長時間かかって真空度が低下してしまう）の要因となります．

構造物を支えるサポートワイヤーは，ニッケル線を少し伸ばして直線としたものを必要な長さに切って，ジュメット線とスポット熔接したものをステム導入線として用います．ステム製作はガスバーナーに酸素を混入しエアで増圧してガラスを軟化して加工後，アニールつぼ（内部は電熱炉になっている）に一晩入れて翌朝からマウントされ構造物が取り付けられ，バルブを被せて排気工程に進みま

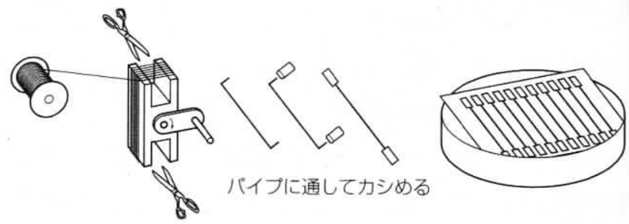
部品工程の例

部品工程は部品の加工と次の組み立て工程に必要な各部品ごとに必要数をトレイに入れて用意する．この作業は組み立て前日に行う．トレイは金属製，プラスチック製，ガラス製のものを使用し，ボール紙製のものは埃や繊維がでるため使用しない．組み立てはベルトコンベアの流れ作業のため部品どうし絡み合わないように並べる．

(1) 直熱管フィラメント・電池管用フィラメント

小さいボビンに巻かれたフィラメントの原線を一定の長さに切り，その両端にニッケルパイプを通して足踏みのプレス機でプレスする，シャーレに並べて一列ごとに繊維の出ない加工紙をスペーサーに入れてその上に並べる．

交流用のフィラメントは入荷時の箱をシャーレに移し替える．



(2) 傍熱管用カソード

カソードにヒーターを入れ，スペーサーの上にのせ，シャーレに入れる．

(3) グリッド

グリッドは水素処理をした後に，種類ごとに寸法，目の乱れを直しながらトレイのマスに一個ずつ入れる．

(4) プレート，外側シールド

鉄にアルミクラッドのものは継ぎ目に3点スポット熔接をして水素処理をした後，容器に並べる．

(5) マイカ

主として傍熱のMT管の上マイカ，GT管の下マイカ，ST管の下マイカ（ゲッターに近いマイカ）

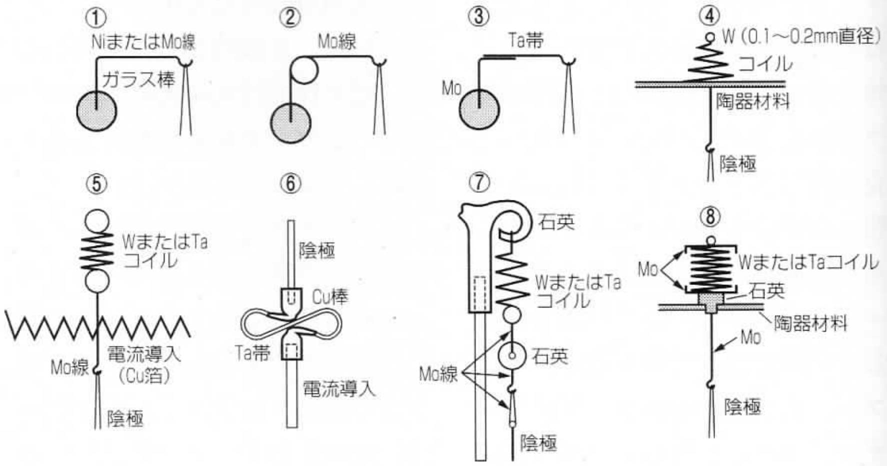
5. フィラメント陰極

真空管の心臓部分に当たる重要なものです．まず心金と呼ばれるヒーター部分はタングステンが主体ですが，トリウムを入れたもの，あるいはニッケル合金など数多くの合金が実用化されました．

熱陰極では心金とよばれる金属に電子放射能力の高い層を形成させます．エレクトロポジティブな層とエレクトロネガティブな層を多層化し，外層に守られるような形で中間層の蒸発度をやわらげて，低い陰極温度でより多くのエミッション電流を得るようにしつつ寿命時間を得るようにしたものです．トリウムを拡散させて電子放射を高めるなど熱陰極は多くの材料による研究が成され大きな成果を生んできました．

フィラメント上に酸化バリウムのようなエレクトロポジティブな金属化合物を付着させて，電解または還元によって純粋な金属バリウムを遊離させます．これを陰極の表面に拡散し，電子放射させるので，陰極表面にガス状または固体状の不純物層が吸着されると電子放射能力は影響されエミッション低下となります．その原因には真空管内のガス放出やリークによる酸素浸し込み，オーバーロードによる電極のスパッターなどがあります．また陰極ペーストによる心金の腐食なども電子放射低下の原因となります．

直熱管においてはフィラメントばね支持による機械的な応力は特に考慮する点です(**図9**)．フィラメント電圧の変動は陰極の加熱温度変化となって良くない結果となりますので定格を守ります．



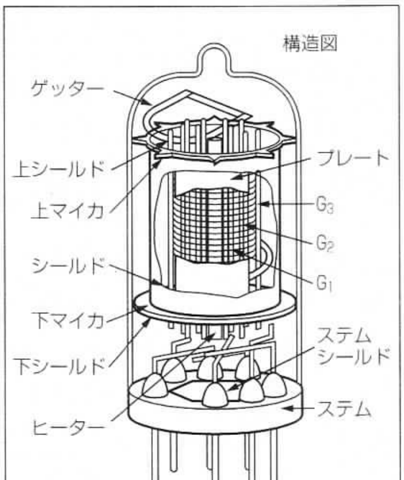
[図9] 陰極のばね支持法の例

バネの吊り方には色々なタイプがあります．真空管の製造では封止排気工程で電極からの吸蔵ガス放出を行った後，何回も高周波加熱で構造物からガス放出を行って真空度が上昇してきたところでフィラメントを点火し，陰極温度を上げて電子放射分質からバインダーを焼き飛ばし，電子放出能力を高めるように活性化を行います．

6. ゲッター

旧型受信管でマグネシウムゲッ

品種
6BA6MT，6AU6MT
用途
ラジオ用
(1) 高周波増幅（一般ラジオ）
(2) 中間周波増幅（スーパーヘテロダイン）



部品図

